

100W 고압나트륨 램프용 타력식 전자식 안정기 설계

(A Design of External-Exciting Electronic Ballast for 100W
High Pressure Sodium Lamp)

이 용 후* · 김 수 호 · 김 성 경 · 이 준 호 · 이 진 우

호서대학교 전기공학과

(Yong-Hoo Lee · Soo-Ho Kim · Sung-Kyeon Kim · Jun-Ho Lee · Chin-Woo Yi)

Dept of Electrical Eng Hoseo Univ.

Abstact

This paper describes a design of the external-exciting electronic ballast for 100W high pressure sodium lamp. The ballast is consists of the full-bridge inverter and an external-exciting control circuit. L and C values of an equivalent L-C series resonant circuit are calculated analytically. The electrical output characteristics of the ballast, such as voltage, current etc., are simulated by Pspice. The experimental results from high pressure sodium lamp system with the ballast we developed are shown to be consistent with the simulated results

1. 서 론

조명에 사용되는 전력에너지를 절감하기 위해서 방전등의 경우에 등기구의 개선중 가장 큰 비중을 차지하고 있는 분야가 안정기 분야이다. 기존의 자기식 안정기는 간단하고, 저가격, 신뢰성이 있지만 큰 부피와 무게, 낮은 역률, 낮은 효율, 선전압 강하에 민감하며, 철손과 동손에 의한 손실이 크다는 결점이 있는데, 이러한 결점을 극복하기 위한 전자식 안정기의 도입이 요구되고 있다.[1][2]

전자식 안정기에 이용되는 전압원 방식중 풀브릿지(full-bridge) 방식은 하프브릿지(half-bridge) 방식에 비해 제어가 용이하며 동일한 스위칭소자를 사용하여도 2배의 높은 전압을 견딜 수 있다는 이점, 즉 동일한 스위칭 소자를 사용하여 동작전압을 높일 수 있다는 장점이 있다. 또한 스위칭 구동방식에 따른 타력식 인버터는 별도의 제어회로에 의해 회로가 복잡하며 게이트를 직접구동하기 때문에 제어회로에 손실이 발생하는 단점이 있지만, 자력식과 비교하여 스위칭 주파수의 조절로 전력제어가 가능하며 필라멘트 예열이나 조광을 할 수 있다는 장점이 있고, 전원전압의 변화에도 불구하고 안정된 출력을 유지하는 기능 등의 특성이 안정적이라는 장점이 있어 고기능 전자식안정기에 적합하다 [3]

본 논문에서는 제어가 용이하고 스위칭소자의 내압을 높일 수 있는 풀브릿지 방식을 이용하여 전

원전압의 변화에도 안정된 출력을 얻을 수 있는 타력식 고압나트륨 램프용 전자식 안정기를 설계하기 위해 L-C공진회로의 L, C 값을 해석적으로 계산한 후 출력단의 전기적 특성을 Pspice 시뮬레이션을 통해 예측해보고 실제 회로를 구성하여 실험값을 구하고자 한다.

2. 안정기 설계

2.1. 고압나트륨 램프의 특성

고압나트륨 램프는 일반조명용 광원 중 최고의 효율(140lm/W)을 갖는 램프로 나트륨 증기를 통하여 방전할 때 생기는 D선(589.0nm, 589.6nm)을 이용하는 광원이며 광색은 거의 등황색의 단색광원이다. 램프의 안정화 시간은 점등 후 10분 정도이며, 평균연색평가수(General Color Rendering Index) Ra는 15~30으로 형광수은램프에는 뒤떨어지지만 최근 60이상의 것도 있다. 평균수명은 12,000시간이며, 옥외조명이나 공장, 체육관 등의 조명에 적합하다.[4]

램프의 안정화는 램프를 통하여 흐르는 전류의 제한을 의미하고, 이러한 안정화가 없다면 방전의 부저항특성으로 인하여 전류는 무한대에 가깝게 증가하여 램프의 파괴로 이어질 것이다. 그러므로 안정기가 필요하다. 그림 1은 고압나트륨램프의 사용한계를 나타낸 도표이다. 상위와 하위 경계는 램프가 받아들일 수 있는 최대, 최소 전력을 나타내는 선이다. 그리고 왼쪽 경계는 램프에서 받아들일

수 있는 최소 전압을 나타내는 선이며, 오른쪽 경계는 최대 램프 전압을 나타낸다. 램프는 사변체내에서 항상 동작해야 하며, 안정기 특성 곡선은 최소 전압선을 통과하기 전에 최소 전력선에 교차해서는 안 된다. 안정기 설계 시 램프 전압과 램프 전력 사이의 적당한 design point를 결정해야 한다.[5]

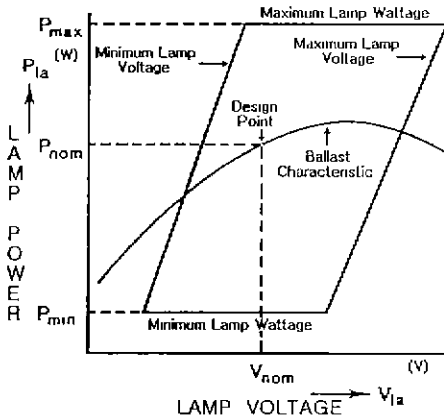


그림 2. 고압나트륨램프에 대한 사변체 다이어그램 [5]

2.2. 시스템 구성

설계한 안정기의 블록도는 그림 2과 같다.

정류부에는 서지 보호 회로를 설계하여 입력측으로부터 낙뢰 및 순간 고전압이 인가될 경우 서지 보호부에서 2차측 회로를 보호한다. 또한 EMI 필터를 두어 EMI 및 고조파 성분이 전원측으로부터 인입, 발산되지 않도록 하여, 60[Hz]의 교류 전원을 직류로 변환하도록 하였다

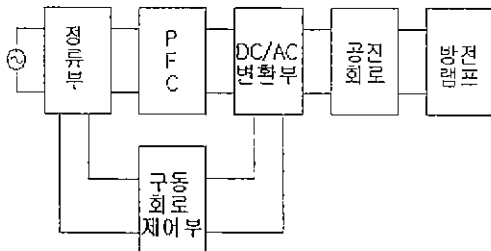


그림 2. 전체 회로 구성

역률보상회로(PFC)는 LInfinity Microelectronics 사의 LX1562 칩을 이용하여 부스트 컨버터를 제어하여 DC/AC 변환부에 일정한 전압(DC 400[V])을 공급하도록 회로를 구성하였다 이때 역률은

0.99이상을 보장하도록 하였다.

DC/AC 변환부는 풀브릿지 방식을 사용하여 스위칭소자의 내압을 높였으며, 구동회로 제어부는 스위칭소자의 게이트신호를 공급하는 부분으로 International Rectifier 사의 IR2155 와 IR2111 칩을 사용하여 MOSFET의 게이트신호를 공급하게 하였다. 구동회로 제어부를 조정함으로써 램프 동작 주파수를 조정할 수가 있다. 램프 동작 주파수는 그림 7에서 다음과 같이 계산된다.[6]

$$f = \frac{1}{1.4 \times (R_1 + 75\Omega) \times C_3} \quad (1)$$

공진회로는 LC 직렬 공진회로로 구성하였으며, L, C값의 산출은 2.3 에서 다루기로 한다.

2.3. 공진회로의 L, C 값 산출

그림 3은 L, C 값을 계산하기 위하여 풀브릿지 직렬 공진 인버터의 회로를 나타낸 것이다.

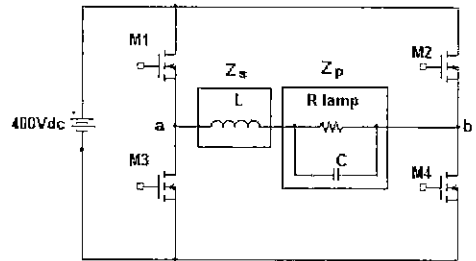


그림 3. 풀브릿지 직렬 공진 인버터

단상 풀브릿지 직렬 공진 인버터는 각 전력 스위칭을 제어하여 공진회로에 구형파 형태로 공급한다. 점등되기 전의 램프 저항 R_{lamp} 는 매우 커서 개방회로로 모델화하고, 점등 후에는 R_{lamp} 가 매우 작아지므로 정상상태에서 LC 직렬 공진 인버터의 동작은 그림 3의 a, b 양단에 구형파 전압이 인가되는 선형회로로 등가화 할 수 있다. LC공진회로에 의해 고조파성분이 자연적으로 필터링 되므로 공진회로에서 파형은 사인형태이다. 공진회로에 공급되는 기본파 성분은 푸리에 분석에 의해 다음 식으로 얻을 수 있다.

$$v = \frac{4V_{DC}}{\pi} \sin \omega t \quad (2)$$

단상 풀브릿지 인버터의 출력전압은 단상 하프브릿지 인버터의 2배가 된다.[7][8]

우선 L, C 값을 산출하기 위하여 효율과 동작 주파수를 구한다. 효율은 고효율 안정기로 설계가 되도록 0.92이상을 선택하고 동작 주파수는 가정주파

수인 20[kHz] 이상이 되도록 선택한다. 그리고 정상상태시 램프전압 V_{Lamp} 를 100[V]로 가정하고 다음의 식들을 이용하여 L, C 값을 산출한다.

본 논문에서는 아래와 같이 선택하여 계산하였다.

$$\eta = 0.94, V_{Lamp} = 100[V], f = 28[kHz], V_{ab} = 400[V]$$

$$P_m = V_{in} I_{in} = \frac{P_{out}}{\eta} \quad (3)$$

$$R_{Lamp} = \frac{V_{Lamp}^2}{P_{out}} = \frac{100^2}{94} = 106.38[\Omega] \quad (4)$$

그림 3의 회로에서 램프 양단에 걸리는 전압 V_{Lamp} 은 분압법칙을 이용하여 계산할 수 있다. 여기서 공진회로에 입력되는 구형파(V_{ab}) 기본성분의 rms값 V_m 은 피크값의 $4/\pi\sqrt{2}$ 이다 즉 다음과 같은 식으로 쓸 수 있다.

$$V_{Lamp} = \left| \frac{Z_p}{Z_s + Z_p} \right| V_m \quad (5)$$

$$\because Z_s = j\omega L, Z_p = \frac{R}{1 + jR\omega C}, V_m = V_{ab} \times \frac{4}{\pi\sqrt{2}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (6)$$

식 (6)과 식 (7)을 연립하여 풀면,

$$L = \sqrt{\frac{(4RV_{ab})^2}{(\omega V_{Lamp} \pi \sqrt{2})^2}} = 2.18[mH] \quad (7)$$

$$C = \frac{1}{\omega^2 L} = 14.8[nF] \quad (8)$$

과 같이 L, C 값을 산출할 수 있다.

2.4. 시뮬레이션

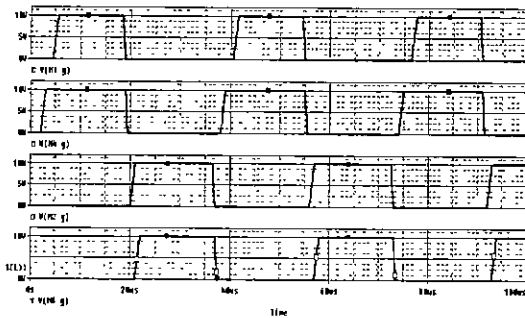


그림 4. 시뮬레이션에 이용된 스위칭 구동신호 파형

본 절에서는 2.3 에서 계산된 L, C 값을 가지고 Pspice 시뮬레이션을 하였다. 먼저 Pspice 에는 타 려식 구동회로 제어 IC가 없으므로 실제 IR2155 와 IR 2111의 제어신호를 실측하여 각 스위칭소자

의 게이트단에 구형파신호를 입력해 준다. 그림 4 는 실제 IR2155 와 IR2111의 제어신호를 실측한 파형으로 시뮬레이션에 입력할 제어신호를 구성하여 각 스위치의 게이트단에 입력한 파형이다.

시뮬레이션과 실험 결과는 통상의 C값 15[nF]을 사용하여 L값을 계산하고(L = 2.12[mH]) 이 L, C 값으로 램프 출력단 전압, 전류 파형을 얻었다.

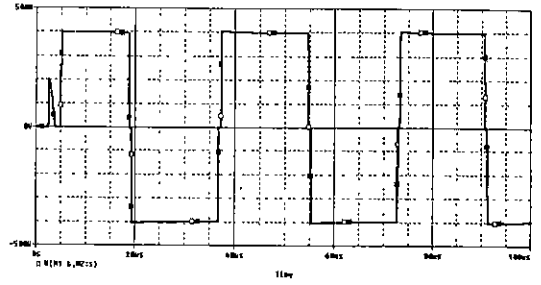


그림 5. 시뮬레이션 한 공진회로 입력 파형

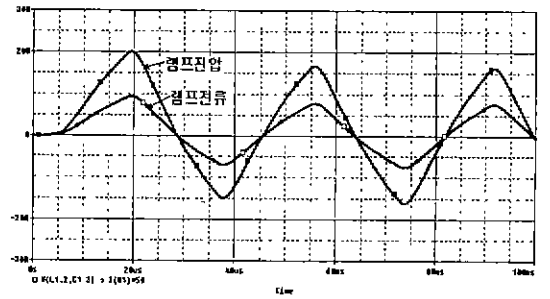


그림 6. 시뮬레이션 한 램프 출력단의 전압, 전류 파형

3. 실험 및 결과

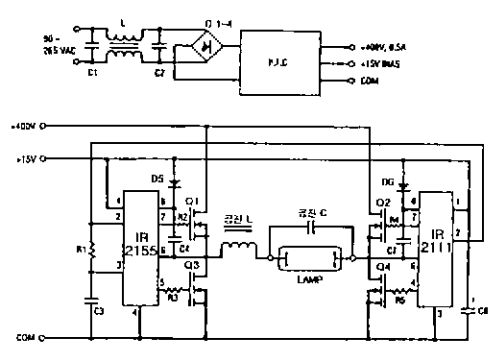


그림 7. 실제 제작된 안경기의 회로도

그림 7은 실제 제작된 안경기 회로도를 보여준

다. 그림 8은 공진회로에 입력되는 구형파 파형으로 시물레이션과 거의 차이가 없지만 동작전압에서 약간의 차이가 있는 것을 알 수 있다. 이것은 시물레이션은 이상적으로 DC 400[V] 입력을 주지만, 실제 회로에서의 DC입력은 PFC(Power Factor Correction)를 통해 400[V]보다 작은 388.8[V]가 공급되기 때문이며, 동작주파수는 28[kHz]이다.

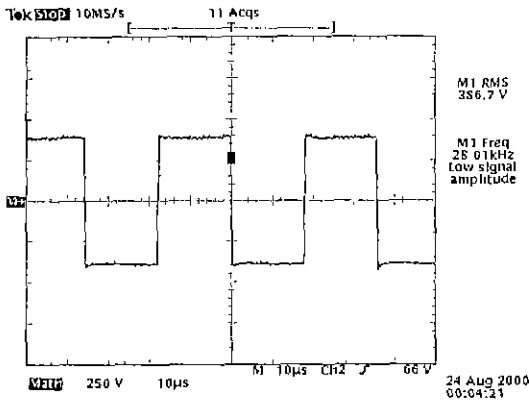


그림 8. 측정된 공진회로 입력 파형(250V/div)

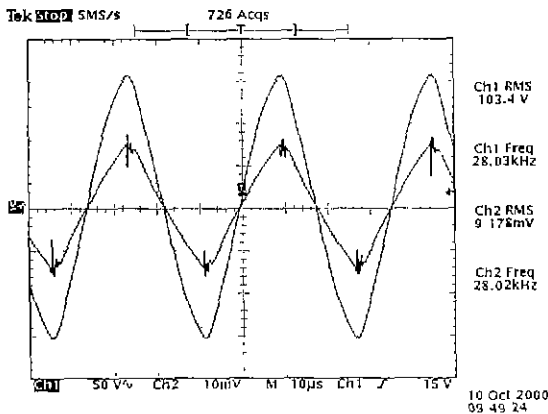


그림 9. 측정된 램프 출력단 전압(50V/div), 전류 (1A/div) 파형

그림 9는 $L = 2.12[mH]$, $C = 15[nF]$ 으로 실제 회로를 설계하였을 때의 램프 출력단 전압, 전류 파형을 보여주고 있다. 이것은 그림 6의 시물레이션 파형과 거의 일치하고 있음을 알 수 있고, 전압은 103.4[V], 전류는 0.92[A] 정도 흐르는 것을 볼 수 있다. 이것으로 램프출력을 구하면 95.1[W]가 된다는 것을 알 수 있다

표 1을 보면 처음 설계 효율 0.94에는 미치지 못하지만, 상당히 좋은 효율을 얻을 수 있는 안정기

가 구현되었음을 알 수 있다.

표 1 실험결과

입력전압[V]	221.5	동작주파수[kHz]	28.01
입력전류[A]	0.47	램프출력전압[V]	103.4
입력전력[W]	104	램프출력전류[A]	0.92
역률	0.993	램프출력전력[W]	95.1
유효전력[W]	103.3	효율 η	0.921
DC입력[V]	388.8		

3. 결론

본 논문에서는 제어IC들을 이용하여 플브릿지 방식의 고압 나트륨 램프용 타력식 전자식 안정기를 설계하고 구현하였다. L, C 값을 계산을 통하여 구하였고, 이 값을 적용한 시물레이션 결과와 실제 제작한 안정기의 결과가 거의 일치하는 것을 볼 수 있었다. 또한 실제 안정기의 출력을 시물레이션을 통하여 미리 파악할 수 있었으며, 제어 IC의 주파수 조절을 통한 조광제어는 23~30[kHz]사이에서 가능하였다.

앞으로 계속 연구해야 할 과제로는 램프가 점등되지 않았을 때 확실하게 안정기를 보호할 수 있는 보호회로와 효율향상, 가격절감에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Richard Redl, Jon D. Paul, "A New High-frequency a High-Efficiency Electronic Ballast for HID Lamps Topology, Analysis, Design, and Experimental Result IEEE, pp486, 1999.
- [2] 최명호, 임성훈, 오성근, 한병성, "전자식 안정기의 출력만도체 온도에 따른 주파수 가변회로 설계", 대한전기학회 논문집, PP2780, 1999.7
- [3] 류태하, 채균, 조규형, "주파수 조절이 가능한 자력식 공진형 인버터의 고속 게이트 구동회로", 대한전기학회 논문집, pp 2783, 1997.7.
- [4] 지철근, "조명 원론", 문운당, p75-78, 1998.
- [5] Chr. Meyer and H. Nienhuis, "Discharge Lamps Kluwer Technische Boeken B.V. Deventer, p256-269, 19
- [6] International Rectifier, "Control Integrated Circuit Design Manual", International Rectifier Corporation, p c59-c 1996.
- [7] 노의철, 정규범, 최남신, "전력전자공학", 문운당, P367-372, 1997.
- [8] 김종길, 손영대 "김택트 형광램프용 조도제어형 전자식 안정기의 설계와 해석", 대한전기학회 논문집, pp2793, 1999.7.